

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DA SEÇÃO TRANSVERSAL NA CAPACIDADE PORTANTE DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Mateus Ronchi Laurindo (1), Alexandre Vargas (2);

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) laurindomateus2@hotmail.com, (2) avargas@unesec.net

RESUMO

O estudo de vigas de concreto armado se justifica pela importância e quantidade desse elemento num sistema estrutural, especialmente nas estruturas denominadas convencionais. No dimensionamento das vigas a seção transversal adotada implica diretamente na capacidade portante desse elemento. O presente trabalho objetiva avaliar experimentalmente o comportamento estrutural de vigas de concreto armado com o mesmo vão, o mesmo tipo de concreto, a mesma armadura, porém com diferentes seções transversais, quando submetidas a ensaios de flexão em quatro pontos. O programa experimental se ateve ao monitoramento dos deslocamentos verticais e as cargas aplicadas para obtenção da flecha admissível e ruptura de doze vigas de concreto armado, com quatro diferentes tipos de seção transversal: retangular, trapezoidal, trapezoidal invertida e seção "T". Foi ainda analisada a relação custo x benefício para cada tipologia de vigas. Os resultados obtidos evidenciaram que a seção que apresentou os melhores resultados tanto na capacidade portante quanto na relação custo benefício foi à seção T.

Palavras-Chave: Concreto armado, vigas, ensaios à flexão em vigas.

1. INTRODUÇÃO

Estruturas em concreto armado são utilizadas, na grande maioria das obras residências, comerciais, públicas e privadas. Dentre os elementos que compõem um sistema estrutural, as vigas merecem destaque pela quantidade presente em cada obra, especialmente em estruturas ditas convencionais. As dimensões e forma da seção transversal desse elemento influenciam diretamente na sua capacidade resistente em virtude das considerações teóricas adotadas para o seu dimensionamento. A determinação do valor da resistência à compressão de cálculo, por exemplo, leva em consideração, dentre outros fatores, a forma da seção

transversal utilizada. É nessa perspectiva que esse trabalho é desenvolvido: avaliar experimentalmente a capacidade portante de vigas de concreto armado, com as mesmas características de vão, tipo de concreto, armadura de flexão e cisalhamento, porém com diferentes tipologias adotadas para a seção transversal, comparando os resultados com aqueles obtidos teoricamente utilizando as teorias de dimensionamento de elementos em concreto armado.

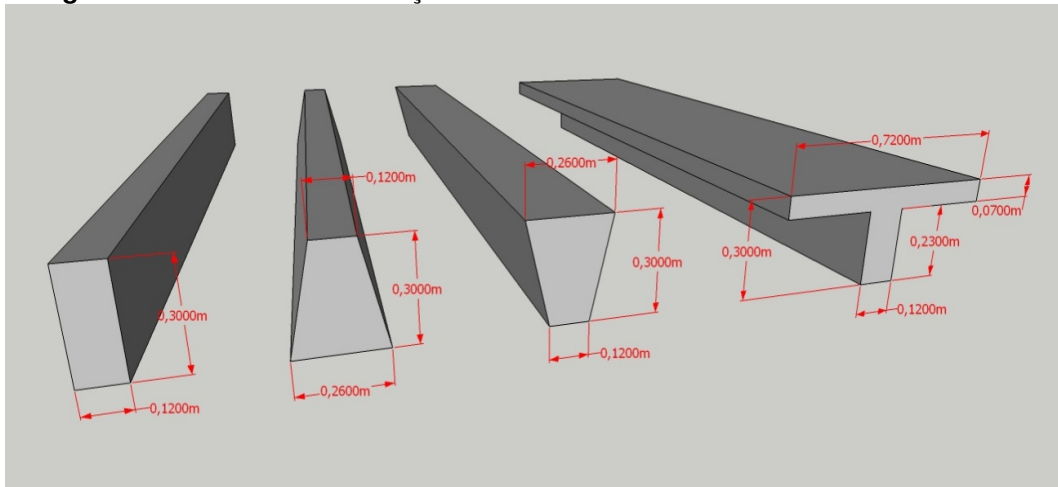
2. OBJETIVOS

- Estudar vigas de concreto armado em escala real sendo rotuladas, sujeitas a flexão, quanto à capacidade de cargas utilizando diferentes tipos de seções transversais.
- Dimensionar e detalhar vigas com o mesmo comprimento e diferentes seções transversais.
- Construir três exemplares de cada uma das vigas dimensionadas em escala real e submetê-las a ensaios de flexão em quatro pontos.
- Avaliar experimentalmente as cargas aplicadas para atingir a deformação máxima preconizada pela NBR 6118:2003 para cada um dos exemplares, além da carga de ruptura.
- Elaborar um estudo relacionando o custo x benefício entre as diferentes seções.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento dessa pesquisa, foram confeccionadas doze vigas, com o mesmo tipo de concreto nos traços de 1: 3: 3: 0,5, (cimento, brita, areia e água), e mesma quantidade de armadura, porém com quatro diferentes tipologias de seção transversal, conforme apresentadas na Figura 1.

Figura 1: Detalhamento das seções transversais.



Fonte: Autor (2012)

A resistência característica do concreto utilizado foi de 25 MPa. Os estribos tiveram espaçamento de 14 cm e diâmetro de 5 mm, utilizando o critério de mínimo diâmetro e máximo espaçamento, estabelecidos pela NBR 6118:2003. Como armadura superior (porta estribo), foram adotadas duas barras com diâmetro de 5 mm, e a armadura inferior, de combate a flexão foi de 2 barras de 6,3 mm, resultando em uma área de aço de combate à flexão igual a 0,64 cm², que é a armadura mínima para a seção transversal retangular adotada de 12x30cm, também estabelecida pela NBR 6118:2003.

Todas as vigas foram submetidas a ensaio de flexão em quatro pontos onde a carga aplicada foi aplicada, aumentando seu valor de forma gradativa até o escoamento do aço da armadura de flexão levando ao fissuramento da peça e, posteriormente, a sua ruptura. Foram avaliados os deslocamentos máximos e cargas para atingir a flecha além da carga de ruptura das vigas. Os ensaios foram realizados no LEE - Laboratório Experimental de Estruturas da UNESC, localizado no IParque. Os equipamentos utilizados no ensaio foram: Pórtico metálico montado sobre uma laje de reação (Figura 2); cilindro hidráulico marca ENERPAC com capacidade de 500 KN (Figura 2); transdutor de deslocamento (LVDT) de 100mm marca HBM (Figura 5), além do equipamento de aquisição de dados QUANTUM X que utiliza o software Catman Easy, ambos marca HBM.

A Figura 2 apresenta a montagem do experimento.

Figura 2: Local e equipamentos utilizados no ensaio.



Fonte: Autor (2012)

3.1 EQUAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DE UMA SEÇÃO TRANSVERSAL DE CONCRETO ARMADO

As equações utilizadas para o dimensionamento das seções são apresentadas a seguir:

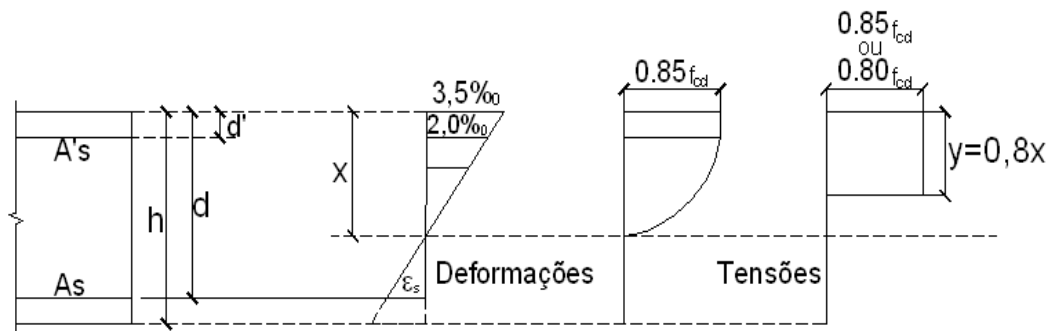
$$M_d = F_{yd} \times A_s (d - 1,4x)$$

$$A_{s\text{mín}} = 0,15 \times b_w \times h$$

$$X = \frac{F_{yd} \times A_s}{0,68 \times F_{cd} \times b_w}$$

$$M_d = 0,68 \times f_{cd} \times b_w \times x (d - 0,4x)$$

Figura 3: Diagrama de tensões no concreto no estado limite ultimo



Fonte: Carvalho, 2007, p. 108.

Segundo a Figura 3 é permitida a substituição do diagrama parábola-retângulo por um retângulo de altura $0,8 \cdot x$, em que x é a profundidade da linha neutra, com a seguinte tensão de cálculo: $0,85 \cdot f_{cd}$ para zonas comprimidas de largura constante, ou crescente no sentido das fibras mais comprimidas no caso do trabalho apresentado para a seção trapezoidal, retangular e seção T a partir da linha neutra; e $0,80 \cdot f_{cd}$ para zonas comprimidas de largura decrescente no sentido das fibras mais comprimidas, a partir da linha neutra no caso da seção trapezoidal invertida (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2009).

3.2 DIMENSIONAMENTO DAS DIFERENTES SEÇÕES ADOTADAS

Os cálculos abaixo se referem ao Momento máximo de serviço para a seção retangular e mantido para as demais seções.

$$X = \frac{F_{yd} \times A_s}{0,68 \times F_{cd} \times b_w}$$

$$X = \frac{5.000/1,15 \times 0,64}{0,68 \times 250/1,4 \times 12} \rightarrow \frac{2782,60}{1457,143} = 1,9096 \text{ cm}$$

$$M_d = F_{yd} \times A_s (d - 1,4x)$$

$$M_d = 743,96 \text{ Kgf} \times \text{m}$$

$$M_k = \frac{M_d}{1,4} \rightarrow \frac{743,96}{1,4} = M_k = 531,4 \text{ Kgf} \times \text{m}$$

Conhecido o valor do momento de serviço, é possível comparar com as cargas de ruptura médias resistidas pelas seções propostas. Os valores são apresentados a seguir:

Seção retangular igual a 2751,81 kgf.

Seção trapezoidal igual a 2661,46 kgf.

Seção trapezoidal invertida igual a 2877,06 kgf.

Seção T igual a 3199,67 kgf.

E analisar que as seções resistiram um valor bem acima do calculado nos dando maior segurança para realização do estudo proposto.

3.3 CÁLCULO DA ÁREA DE AÇO MÍNIMA (Asmín)

Dimensionamento da área de aço mínima (Asmín), para a seção retangular e mantida para as demais seções inclusive a seção T, segundo a NBR 6118:2003 item 17.3.5.

$$Asmín = 0,15 \times bw \times h$$

$$Asmín = 0,15 \times 0,12 \times 0,30$$

$$Asmín = 0,54 \text{ cm}^2 \text{ adotando } 0,64 \text{ cm}^2 \text{ tendo adotadas 2 barras de 6,3mm.}$$

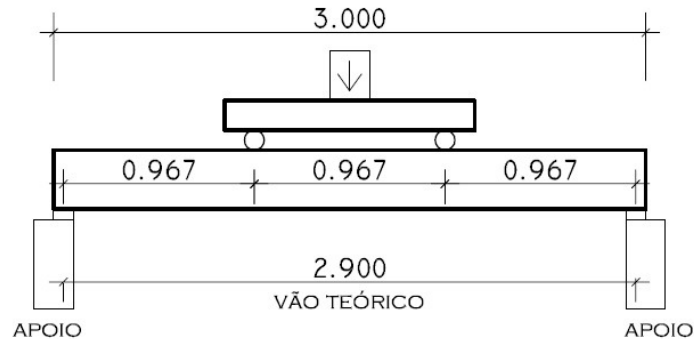
3.4 CÁLCULO DA FLECHA

Para a determinação da flecha, conforme a tabela 13.2 da NBR 6118: 2003 fica estabelecida a flecha máxima admissível em:

$$\text{Flecha} = L / 250, \text{ onde } L \text{ é o vão teórico da viga, portanto;}$$

$$\text{Flecha} = 290 / 250 = 1,16 \text{ cm, onde o vão teórico é imposto pela figura 4.}$$

Figura 4: Demonstração do vão teórico da viga



Fonte: Autor (2012)

A Figura 4 demonstra que o vão teórico é estabelecido pelo comprimento da viga que é de 300 cm e está apoiada nas suas extremidades por pilares de 10 cm de largura onde o vão teórico é estabelecido pelos 300cm da viga menos metade de cada apoio resultando num valor de 290 cm.

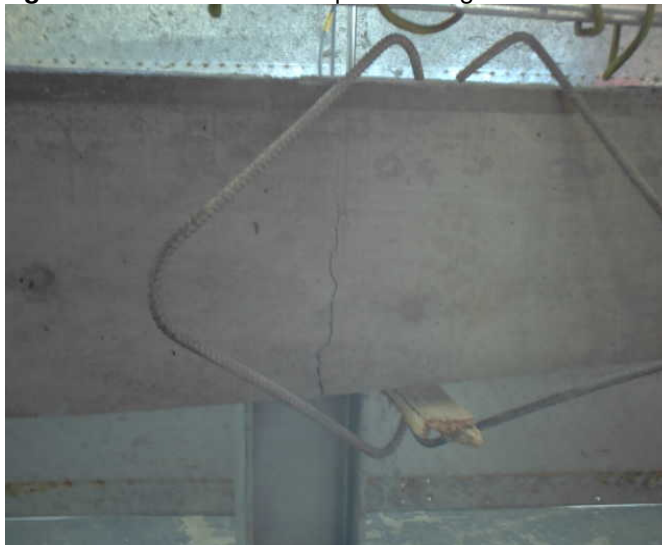
A Figura 5 representa o equipamento LVDT, que mede o deslocamento máximo (flecha). E a Figura 6 demonstra o momento em que a viga fissurou e rompeu pelo escoamento do aço.

Figura 5: Aparelho que mede o deslocamento (flecha)



Fonte: Autor (2012)

Figura 6: Fissuramento e ruptura da viga.



Fonte: Autor (2012)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

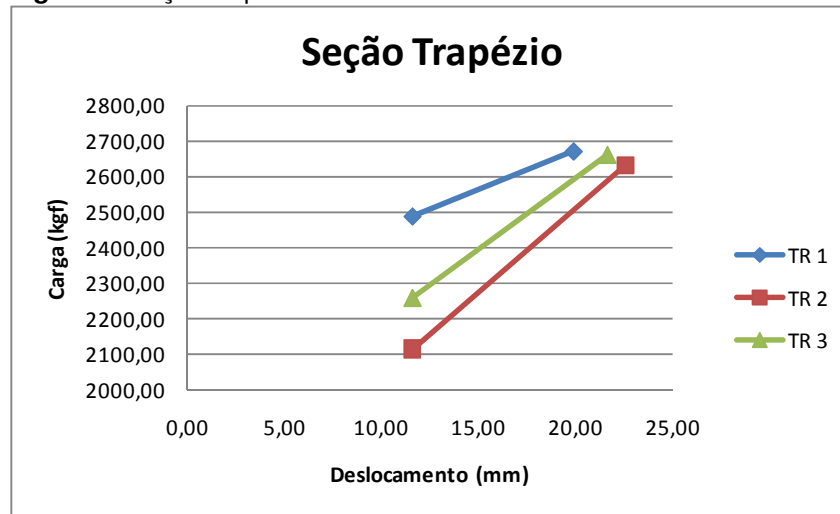
A análise dos resultados é feita em duas etapas. Na primeira, faz-se um comparativo entre os resultados obtidos experimentalmente para cargas e deslocamentos nas vigas com diferentes seções em estudo. Em seguida se analisa os resultados das médias das cargas de ruptura associadas aos custos de confecção de cada tipologia de viga, objetivando estabelecer uma relação custo X benefício.

4.1 CARGA E DESLOCAMENTO OBTIDOS PARA AS DIFERENTES SEÇÕES

Para a identificação de cada tipologia, foram utilizadas abreviaturas como especificadas a seguir: seção retangular (R); seção trapezoidal - base inferior maior que a superior (TR); seção trapezoidal invertida – base inferior menor que a superior (TRI) e seção T (T).

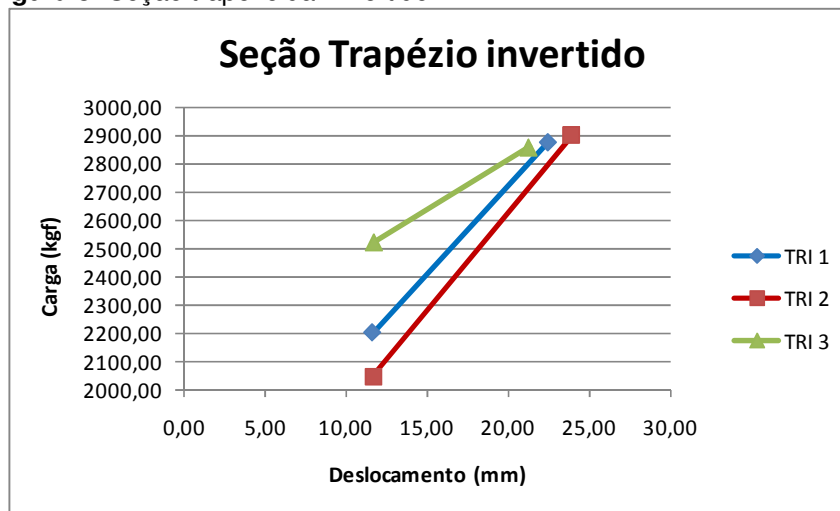
As Figuras 7, 8, 9 e 10 apresentam os resultados experimentais obtidos para cada viga de cada tipologia de seção transversal. O ponto inferior de cada uma das retas inicia na carga correspondente a flecha admissível, enquanto que o ponto superior indica a carga de ruptura.

Figura 7: Seção trapezoidal.



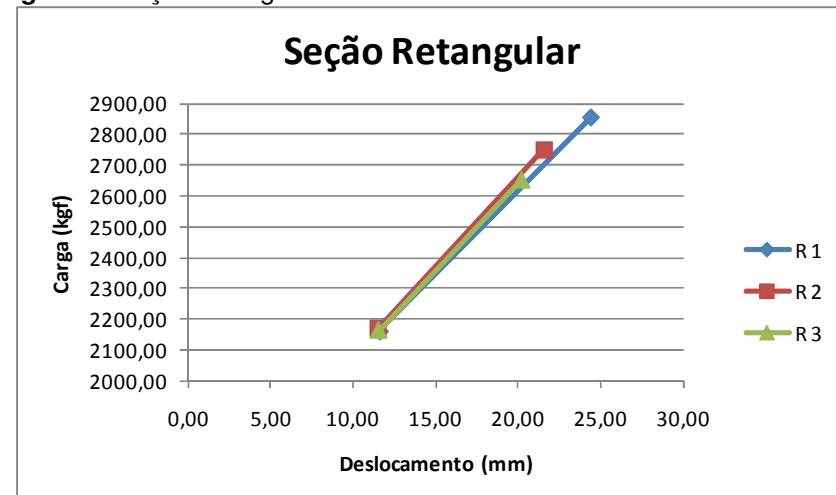
Fonte: Autor (2012)

Figura 8: Seção trapezoidal invertido



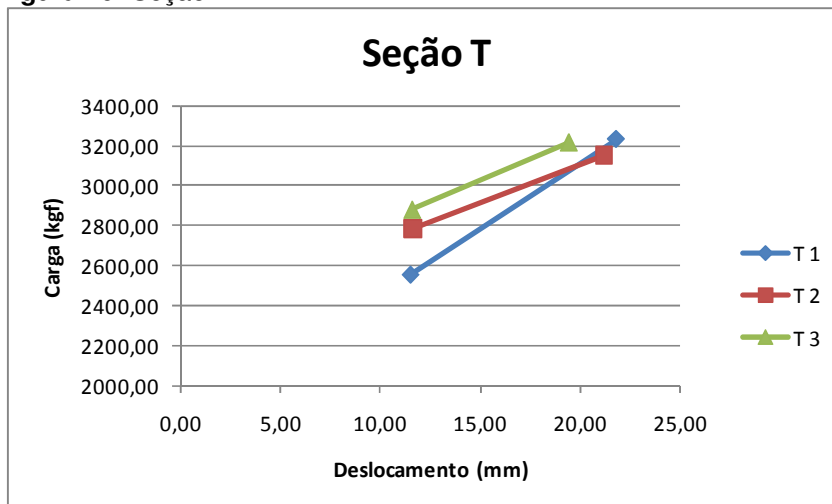
Fonte: Autor (2012)

Figura 9: Seção retangular.



Fonte: Autor (2012)

Figura 10: Seção T

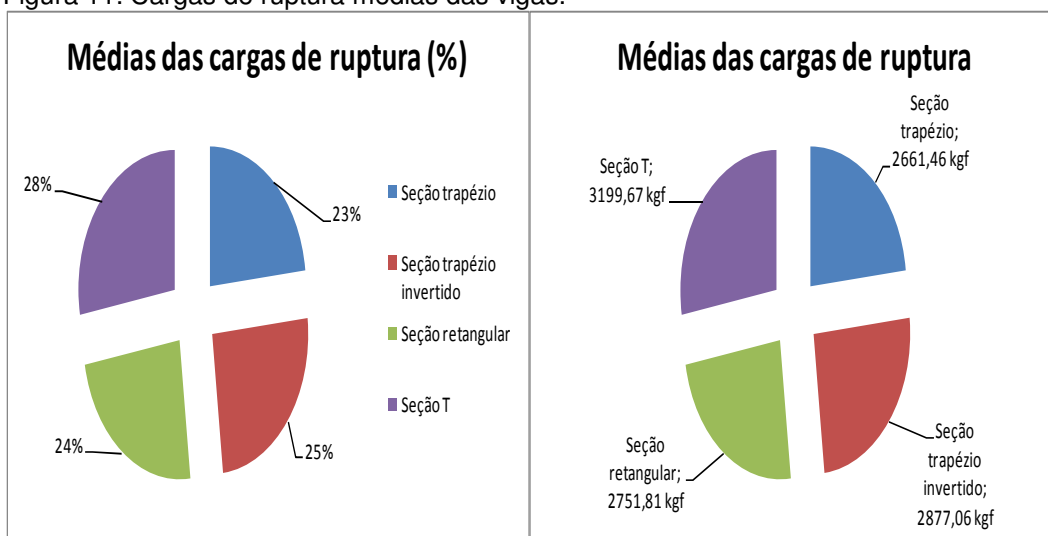


Fonte: Autor (2012)

Pelo que podemos analisar referente as Figuras 7, 8, 9 e 10, partindo da seção retangular convencional, verificamos que a seção T foi aquela que suportou aproximadamente 500 kgf a mais que a seção retangular para a carga de ruptura.

A Figura 11 apresenta os valores médios experimentais, das cargas de ruptura para cada tipologia de seção transversal, juntamente com as porcentagens respectivas.

Figura 11: Cargas de ruptura médias das vigas.



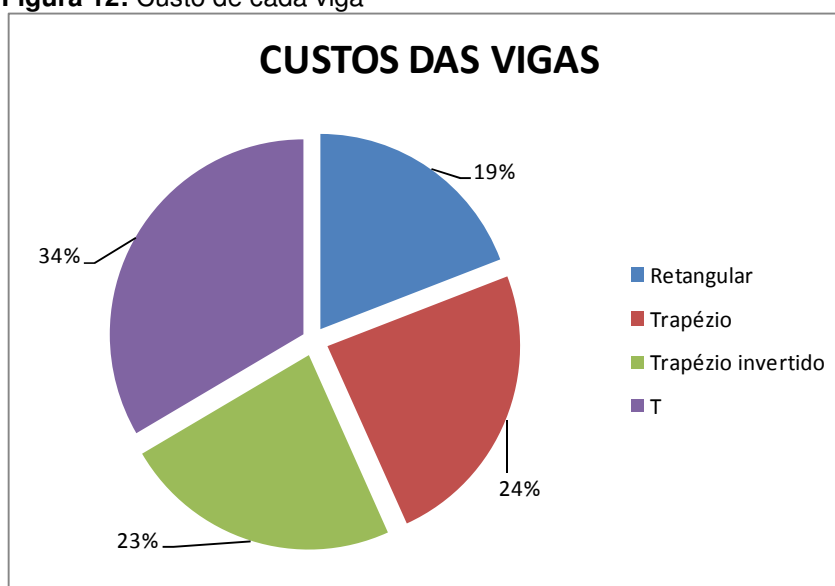
Fonte: Autor (2012)

Analisando as cargas médias de ruptura podemos verificar que a seção T resiste a uma carga 4% maior que a convencional representada pela seção retangular.

4.2 RELAÇÃO CUSTO X BENEFÍCIO

Para uma avaliação do custo benefício das vigas propostas neste estudo, foram levantados os quantitativos de materiais e mão de obra para a confecção das mesmas. A Figura 12 apresenta o custo estimado em porcentagem, para a execução de cada tipologia estudada.

Figura 12: Custo de cada viga



Fonte: Autor (2012)

Apesar da seção T ter um custo 15 % maior que a seção convencional retangular ela consegue suportar uma carga 4 % maior em relação as outras fazendo com que mesmo com um custo superior traga mais benefícios.

5. CONCLUSÕES

Nas obras utilizam-se geralmente vigas de seção retangular por ter um custo menor e de fácil execução.

- O intuito do presente trabalho foi verificar seções diferentes e analisar o custo benefício entre elas, para se possível utilizar outra seção que possa substituir a então usual.
- Na pesquisa foram dimensionados e executados quatro tipos de seções, analisando sua carga de ruptura e o custo unitário para ter uma relação custo e benefício.
- Os resultados então obtidos permitiram concluir que as vigas de seção T suportam uma carga 4% maior que a retangular que é a convencional, isto a teoria já nos mostra só que o diferencial deste trabalho foi a proposta de executar a seção T sem armadura de costura e sim apenas com uma armadura de distribuição, simulando uma laje armada sobre uma viga e os resultados obtidos foram muito satisfatórios resistindo a uma carga de aproximadamente 3,2 toneladas contra 2,7 toneladas da retangular.
- O presente estudo teve como base a armadura mínima de combate a flexão.

Para os próximos estudos recomenda-se usar uma taxa de armadura acima da mínima que esteja trabalhando no domínio limite 3/4 fazendo com que as seções suportem mais carga, permitindo uma avaliação mais consistente dos ensaios.

6. REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118** – Projeto de estruturas de concreto: Procedimentos. Rio de Janeiro, 2003.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**: Rio Grande: Dunas, 2003 v. 1, 2 ed.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2003. 3. ed. São Carlo, SP: EDUFSCAR, 2007.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto**: ensino, pesquisas e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

MOHAMAD, Gihad. **Estruturas de Concreto Armado: Tecnologia, Materiais e Estruturas para Arquitetura**. Itajaí, SC: Univali, 2004.